

## Evaluación del pavimento de hormigón de la rotonda de acceso a la ciudad de Pigüé, Buenos Aires, Argentina

J. J. Berezosky<sup>a,b</sup>, C. V. Priano<sup>c</sup>, C. N. Bournod<sup>b</sup>, F. Locati<sup>d</sup>, S. A. Marfil<sup>b,e\*</sup>

<sup>a</sup>Dirección Nacional de Vialidad, Distrito 19, CP 8000, Bahía Blanca, Argentina. [jberezosky@vialidad.gob.ar](mailto:jberezosky@vialidad.gob.ar)

<sup>b</sup>Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (CGAMA, CIC-UNS), CP 8000, Bahía Blanca, Argentina. [cbournod@hotmail.com](mailto:cbournod@hotmail.com)

<sup>c</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, CP 8000, Bahía Blanca, Argentina. [cpriano@uns.edu.ar](mailto:cpriano@uns.edu.ar)

<sup>d</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA, CONICET-UNC) – Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba, CP X5016GCA, Córdoba Capital, Argentina. [flocati@unc.edu.ar](mailto:flocati@unc.edu.ar)

<sup>e</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, CP 8000, Bahía Blanca, Argentina. [smarfil@uns.edu.ar](mailto:smarfil@uns.edu.ar)

Recibido: 10 de diciembre de 2021

Aceptado: 13 de junio de 2022

### RESUMEN

Se evaluó el pavimento de hormigón de la rotonda de acceso a la ciudad de Pigüé (Buenos Aires), construida en 1984 y reparada posteriormente. Se tomaron testigos del hormigón original y de reparación, y se realizaron ensayos de resistencia a compresión, densidad, absorción, porosidad, determinación de la capacidad y coeficiente de succión capilar, y estudios petrográficos con estereomicroscopio, microscopía óptica y electrónica de barrido. Además, se determinó el índice de daño a partir del conteo de fisuras sobre la superficie de testigos pulidos. El agregado grueso de ambos hormigones es una cuarcita que contiene 6% de cuarzo microcristalino y cuarzo con extinción ondulante. Como productos secundarios se identificaron silicatos alcalinos asociados a la reacción álcali-sílice (RAS) y ettringita. Los resultados sugieren que, problemas asociados al diseño estructural del hormigón, habrían sido factores que favorecieron la fisuración inicial, permitiendo el ingreso de humedad y el desarrollo de la RAS en ambos hormigones.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón, rotonda, RAS, índice de daño

### ABSTRACT

The concrete pavement of the access roundabout of Pigüé city (Buenos Aires), built in 1984 and later repaired, was evaluated. Cores of the original and repaired concrete were taken and compressive strength, density, absorption, porosity, sorptivity, and petrographic studies with stereomicroscope, optical and scanning electron microscopy were carried out. Also, the damage rating index was determined by counting cracks on the surface of polished cores. The coarse aggregate of both concretes is a quartzite with 6% of microcrystalline quartz and quartz with undulatory extinction. As secondary products, alkaline silicates associated to the alkali-silica reaction (ASR) and ettringite were identified. The results suggest that problems associated with the structural design of the concrete, would have promoted the initial cracking, allowing the entry of moisture and the development of ASR in both concretes.

**KEYWORDS:** Concrete, roundabout, ASR, damage rating index

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: Berezosky, J. J., Priano, C. V., Bournod, C. N., Locati, F., y Marfil, S. A. (2022). Evaluación del pavimento de hormigón de la rotonda de acceso a la ciudad de Pigüé, Buenos Aires, Argentina. *Revista Hormigón*, 62, 5–16. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/t7a0nrkv8>

## 1. Introducción

La reacción álcali-sílice (RAS) es una patología que se conoce en el mundo desde la década del '40 y en Argentina desde hace más de 60 años, sin embargo, en la actualidad continúa siendo una de las principales causas de deterioro de las estructuras de hormigón [1]. Es una reacción que se produce entre los álcalis provenientes de la solución de poro del hormigón y ciertos materiales silíceos potencialmente reactivos que componen los agregados pétreos (gruesos y finos), en presencia de humedad relativa elevada (> 80%) [2]. Esto da lugar a la formación de silicatos alcalinos hidratados que genera tensiones internas en el hormigón, y causa su fisuración.

Dentro de los componentes reactivos se puede mencionar el cuarzo fuertemente tensionado y/o microcristalino, denominado genéricamente de reacción lenta ya que, en caso de producirse la reacción, ésta se manifiesta generalmente luego de los primeros 10-20 años de construida la estructura (aunque puede manifestarse a mayores edades), y las variedades de sílice micro a criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita, calcedonia) y el vidrio volcánico, denominados de reacción rápida, ya que la RAS se manifiesta dentro de los primeros 5-10 años o incluso antes [3].

En el sur de la provincia de Buenos Aires existen antecedentes de pavimentos de hormigón deteriorados por la RAS, todos vinculados a la reactividad del agregado fino, en particular a las arenas con elevado porcentaje de rocas volcánicas con pastas vítreas y vidrio volcánico [4-6]. Sin embargo, hasta el momento no se conocen antecedentes de estructuras con RAS debido a la reactividad del agregado grueso que generalmente se utiliza en la zona, constituido por triturados de granitos y cuarcitas.

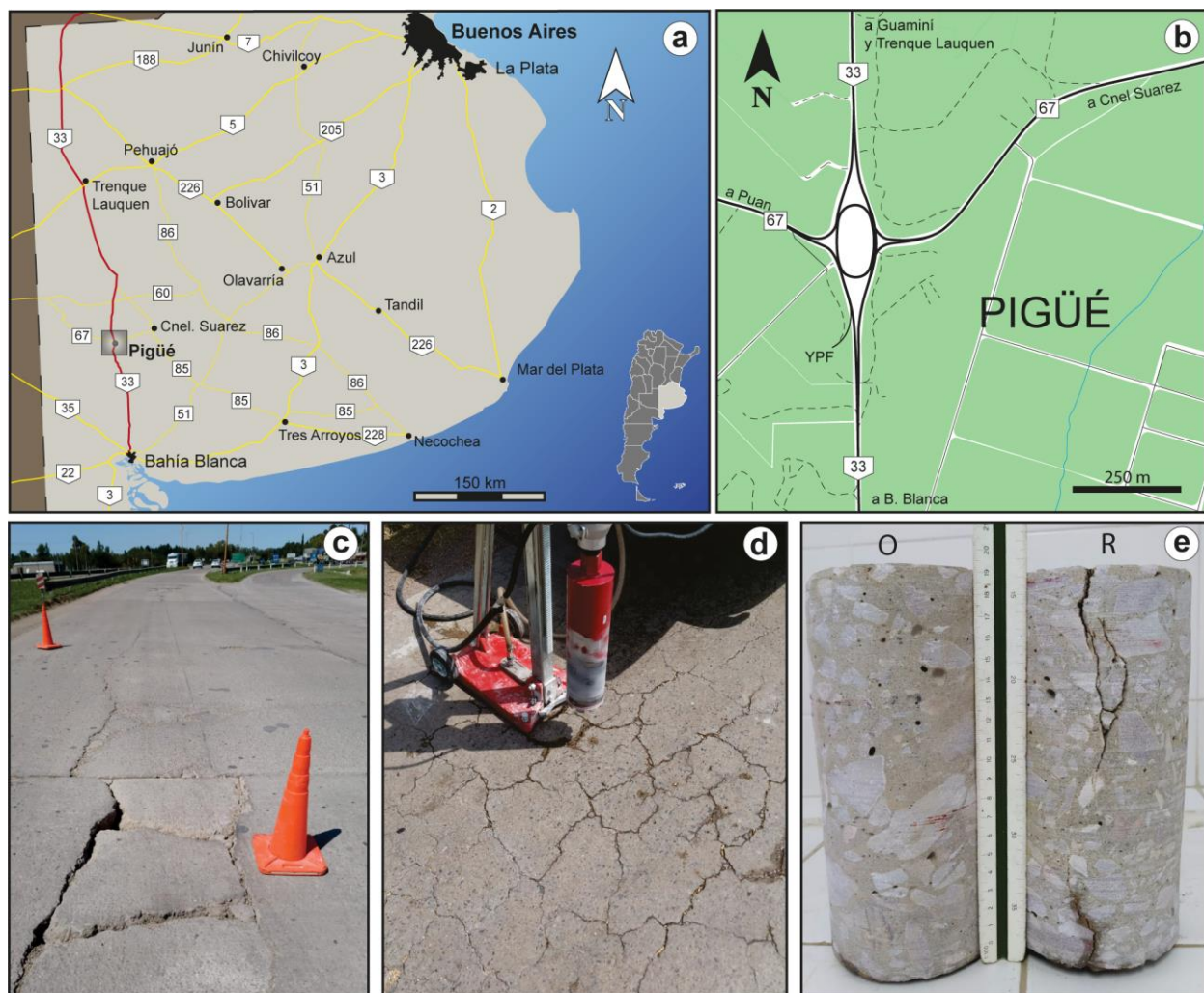
En un trabajo previo [7] se evaluó la potencial reactividad de estas rocas mediante estudios petrográficos [8] y ensayos físicos: método acelerado de la barra de mortero [9] y prismas de hormigón convencional y acelerado [10]. Según los resultados obtenidos, los

agregados graníticos se calificaron como no reactivos. Sin embargo, los agregados cuarcíticos contenían cuarzo microcristalino (tamaño promedio 30  $\mu\text{m}$ ) en cantidades ligeramente superiores al 5% estipulado como límite según la norma IRAM 1531 [11], y las expansiones medidas en los ensayos acelerados de la barra de mortero y prisma de hormigón superaron los límites establecidos por las normas, mientras que el prisma convencional dio inferior al límite con una pendiente positiva en la curva de expansión.

En el presente trabajo se estudió el pavimento de la rotonda de acceso a la ciudad de Pigüé (provincia de Buenos Aires) sobre el kilómetro 134 de la R.N. N° 33. Esta rotonda fue construida en el año 1984 empleando en su totalidad materiales de la región, utilizando cuarcitas como agregado grueso. Con posterioridad, la misma fue reparada en varias oportunidades, siendo la más importante en el año 2009. En dicha ocasión, se reemplazó entre un 10% - 15% del total de la superficie mediante la construcción de losas (espesor total), utilizando los mismos agregados que en el hormigón original. Actualmente, la estructura de 18.000 m<sup>2</sup> está siendo reemplazada en un 90% debido al significativo grado de deterioro que ha sufrido tanto el hormigón original como el de reparación. Para la reconstrucción actual, se está utilizando como agregado grueso una roca granítica de conocido comportamiento no reactivo [7]. El objetivo de este estudio es analizar las posibles causas que llevaron al deterioro del hormigón original y de la reparación de la rotonda.

## 2. Materiales y métodos

Se estudió el hormigón de la rotonda ubicada en la intersección de la Ruta Nacional N° 33 y la Ruta Provincial N° 67 en el acceso a la ciudad de Pigüé (provincia de Buenos Aires) (Fig. 1a y 1b). En el pavimento se observaron fisuras longitudinales y tipo mapa, roturas y desplazamientos, y pérdida de material de base por bombeo (Fig. 1c y 1d). A fin de evaluar el estado interno del hormigón original (O) y de reparación (R), se calaron testigos de



**Figura 1.** a. Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Buenos Aires. b. Detalle de la ubicación de la rotonda en el acceso a la ciudad de Pigüé. c. Foto del estado del pavimento original en la rotonda. d. Extracción de testigos en losas de reparación. e. Testigos del hormigón O1 y R2.

10 cm de diámetro x 20 cm de altura en tres sectores del pavimento O (O1, O2 y O3) y en dos del R (R1 y R2) (Fig. 1d y 1e). Con ellos se realizaron ensayos de resistencia a la compresión e índice de daño. Además, se tomaron 20 muestras de fragmentos de hormigón O y R para la determinación de las características físicas y para los estudios petrográficos.

Para caracterizar el hormigón, se realizaron los siguientes ensayos físico-mecánicos: resistencia a compresión, según norma IRAM 1551 [12]; densidad, absorción y espacios vacíos, según lo establecido en la norma ASTM C642-13 [13] y, determinación de la capacidad y coeficiente de succión capilar de

agua del hormigón endurecido, según norma IRAM 1871 [14].

La observación del estado del hormigón, la identificación de fisuras y productos de neoformación sobre la superficie de rotura de los testigos y caras exteriores se llevó a cabo con un estereomicroscopio Leica S9i. Se realizaron secciones delgadas que se estudiaron bajo un microscopio óptico petrográfico Leica DM 750P. La morfología y composición de los productos de reacción se analizó con un microscopio electrónico de barrido (MEB-EDS) LEO EVO 40-XVP SEM en superficies de rotura de muestras metalizadas con carbono, a 10 kV.

Además, se determinó el índice de daño (Damage Rating Index-DRI), en el hormigón de los testigos O3 y R2. Este método semicuantitativo permite estimar el nivel de daño del hormigón, a partir del conteo de ciertas características de deterioro (principalmente fisuras), en áreas de 1 cm x 1 cm dibujadas sobre la superficie del hormigón pulido, trabajando bajo estereomicroscopio a una magnificación de 16x [15]. Estas características luego se ponderan para balancear su importancia relativa y así obtener una valoración del daño general. El método sugiere trabajar con una grilla mínima de 200 cm<sup>2</sup>, luego se normaliza el resultado a 100 cm<sup>2</sup> y se obtiene un único valor para el DRI. Con fines prácticos, se mantuvieron las siglas en inglés correspondientes a cada característica, tomadas del trabajo de Sanchez et al. [15]. Los testigos a estudiar se cortaron a la mitad con sierra diamantada a lo largo de su eje mayor. Luego se pulió una de las caras con abrasivos de carburo de silicio de diferente granulometría (#320, #400, #600, #1000 y #2000), utilizando agua como lubricante.

### 3. Resultados

#### 3.1 Ensayos físico-mecánicos

En la Tabla 1 se detallan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados sobre los testigos O1, O2 y R1.

Si bien se observa un valor más elevado de resistencia a compresión en el hormigón R respecto al hormigón O (~ 53 MPa vs. ~ 37 MPa, respectivamente) son valores habituales para este tipo de estructura [16].

Los resultados de las determinaciones de densidad (saturado superficie seca), absorción y porosidad medidos sobre fragmentos de hormigón se detallan en la Tabla 2. Cada resultado es el promedio de cuatro determinaciones.

**Tabla 1.** Resistencia a compresión del hormigón R y O.

Testigo	Resistencia a compresión (MPa)
R1	52,6
O1	37,4
O2	36,8

Estos valores no reflejan diferencias apreciables entre los hormigones R y O. En todos los casos, los valores de porosidad se mantienen por debajo al 10% e indican un hormigón de buena calidad [17].

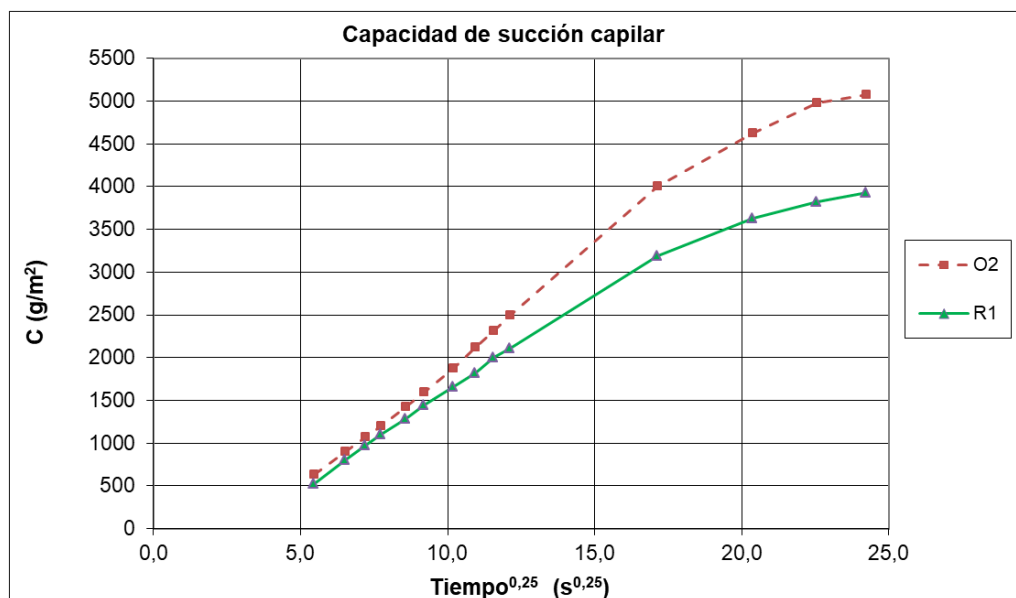
La capacidad y el coeficiente de succión capilar (particularmente del hormigón del sector superior) son parámetros asociados a la durabilidad de las estructuras de hormigón. Se define capacidad de succión capilar (C) a la capacidad máxima nominal que tiene una muestra de ensayo para incorporar agua a través de la base de succión. El coeficiente de succión capilar (S) refiere a la rapidez de absorción de agua por capilaridad, y se lo denomina también como velocidad de succión capilar o "sorptivity" en inglés.

El método de ensayo para determinar los valores de C y S, consiste en registrar el incremento de masa de una muestra en contacto con agua en una de sus bases. Para obtener un espécimen de 5 cm de espesor, fue necesario realizar un aserrado de los testigos R1 y O2. El corte se hizo midiendo a partir de la superficie de exposición. Los resultados se detallan en la Fig. 2.

El valor de C representa la ordenada de una recta horizontal a la cual tiende asintóticamente la gráfica, para las mediciones posteriores. El coeficiente S, para cada una de las muestras, se calculó como la pendiente de la recta obtenida mediante ajuste por cuadrados mínimos de la serie de puntos correspondientes al intervalo de tiempo comprendido entre 0,1 C y 0,9 C.

**Tabla 2.** Densidad, absorción y porosidad del hormigón R y O según ASTM C642-13 [13].

Hormigón	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Porosidad (%)
R	2,40	3,3	7,5
O	2,34	3,8	8,6



**Figura 2.** Capacidad de succión capilar del hormigón R y O.

En la Tabla 3 se muestran los valores de capacidad de succión capilar (C) y el coeficiente de succión capilar en función de la raíz cuarta del tiempo (S), como especifica la norma IRAM 1871 aprobada recientemente [14]. Debido a que en el Reglamento CIRSOC 201 [18] siguen vigentes los requisitos establecidos para el ensayo según la anterior edición de la norma, se contempló en el Anexo A de la nueva versión, una estimación de la velocidad de succión capilar o coeficiente de succión capilar en función de la raíz cuadrada del tiempo ( $S^{0,5}$ ) a partir del valor del coeficiente de succión capilar en función de la raíz cuarta del tiempo (S). Dicha

fórmula ha sido planteada para el caso de muestras provenientes de probetas moldeadas y si bien no hay información experimental disponible, no habría razones para suponer que los testigos mostraran una diferencia sustancial. Es por ello que también se incorporó en la Tabla 3 los valores de  $S^{0,5}$  obtenidos a partir de la estimación del S del ensayo, con la fórmula establecida en la norma vigente.

Si bien el hormigón R1 presentó los menores valores de capacidad y coeficiente de succión capilar, la velocidad de succión capilar ( $S^{0,5}$ ) estimada a partir de la fórmula establecida en

**Tabla 3.** Capacidad y coeficientes de succión capilar del hormigón R y O.

Testigo	C (g/m <sup>2</sup> )	S (g/m <sup>2</sup> s <sup>0,25</sup> )	$S^{0,5}$ (g/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> )
R1	3924	229,8	8,4
O2	5075	294,6	10,7

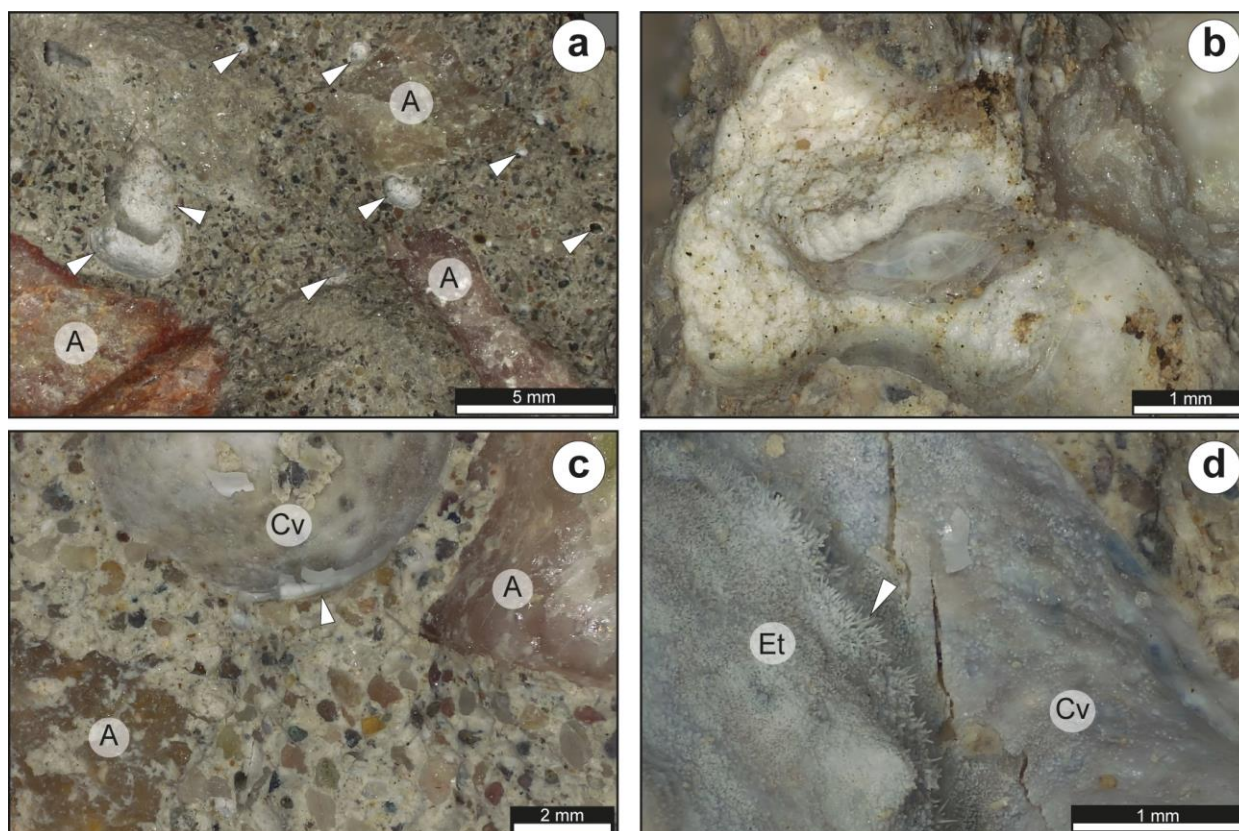
la nueva versión de la norma IRAM 1871, presenta valores elevados tanto para el hormigón O como el R.

### 3.2 Petrografía

Los fragmentos de hormigón O y R se observaron con estereomicroscopio. Presentan una buena distribución del agregado grueso, constituido por piedra partida cuarcítica, de tamaño máximo nominal aproximado de 38 mm. El testigo R presenta una fractura longitudinal que afecta a todo el testigo y está parcialmente rellena con productos de neoformación.

En la Fig. 3 se observan los hormigones O y R mediante estereomicroscopio. Las Fig. 3a y 3b muestran las características del hormigón O. En la Fig. 3a se observa que el agregado

grueso utilizado es cuarcítico. Las cavidades de aire accidental están parcialmente rellenas con ettringita y un material blanco que podría corresponder a calcita o portlandita. En la Fig. 3b se muestra, con mayor magnificación una porción con abundante material blanquecino y transparente sin hábito definido, que podría atribuirse a productos de reacción asociados a la RAS. Las Fig. 3c y 3d corresponden al hormigón R. En la Fig. 3c se observa una cavidad tapizada con productos de neoformación blanquecinos a transparentes y sin hábito definido, y que el agregado grueso utilizado es cuarcítico. La Fig. 3d muestra un detalle de una zona con abundantes productos de reacción (ettringita y productos de color transparente a blanquecino) y microfisuras. Estos materiales fueron separados para su posterior análisis por MEB-EDS.



**Figura 3.** Fotomicrografías del hormigón O (a y b) y R (c y d) vistas con estereomicroscopio. a. Se observan los agregados gruesos cuarcíticos (A) y cavidades de aire accidental rellenas parcialmente por productos de reacción (flechas blancas). b. Detalle del mortero con abundante desarrollo de material de neoformación. c. Agregado grueso cuarcítico (A) y cavidad de aire accidental (Cv) parcialmente rellena con productos de reacción (flecha blanca). d. Detalle del interior de una cavidad (Cv) con productos de reacción blanquecinos a transparentes y ettringita (Et) (flecha blanca).

Los estudios con microscopio petrográfico sobre secciones delgadas de los hormigones O y R, permitieron determinar que la composición de los agregados es la misma en ambos hormigones. El agregado grueso cuarcítico utilizado contiene abundante cuarzo microcristalino (6%) y cuarzo con extinción ondulante (AEO promedio 23°). El agregado fino es una arena natural constituida en forma predominante por cuarzo, feldespatos y valvas carbonáticas, con menor proporción de rocas graníticas y volcánicas.

En la Fig. 4 se observan las características del hormigón O y R visto con microscopio óptico sobre secciones delgadas. Las Figs. 4a, 4b y 4c corresponden al hormigón O y las Figs. 4d, 4e, y 4f al R. En la Fig. 4a se observa (con luz paralela) una partícula de cuarcita con una microfisura en la zona de interfase con el mortero. Las cavidades de aire accidental están parcialmente rellenas con materiales de baja birrefringencia, algunos de ellos con hábito fibroso adjudicados a ettringita. La Fig. 4b es la misma imagen con nicoles cruzados donde se puede ver la extinción ondulante del cuarzo y la presencia de cuarzo microcristalino. La Fig. 4c muestra un sector del mortero con fuerte carbonatación. En la Fig. 4d se observa una microfisura que afecta la pasta de cemento y que bordea a los agregados finos. Las Figs. 4e y 4f (con luz paralela y nicoles cruzados respectivamente) muestran una partícula de cuarcita con abundante cuarzo microcristalino y una microfisura rellena con productos de neoformación en el contacto con el mortero.

### 3.3 Microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)

Los productos de neoformación observados con estereomicroscopio fueron separados para su análisis por MEB-EDS. En el hormigón O se identificó principalmente ettringita como relleno de las cavidades en el mortero (Figs. 5a y 5b).

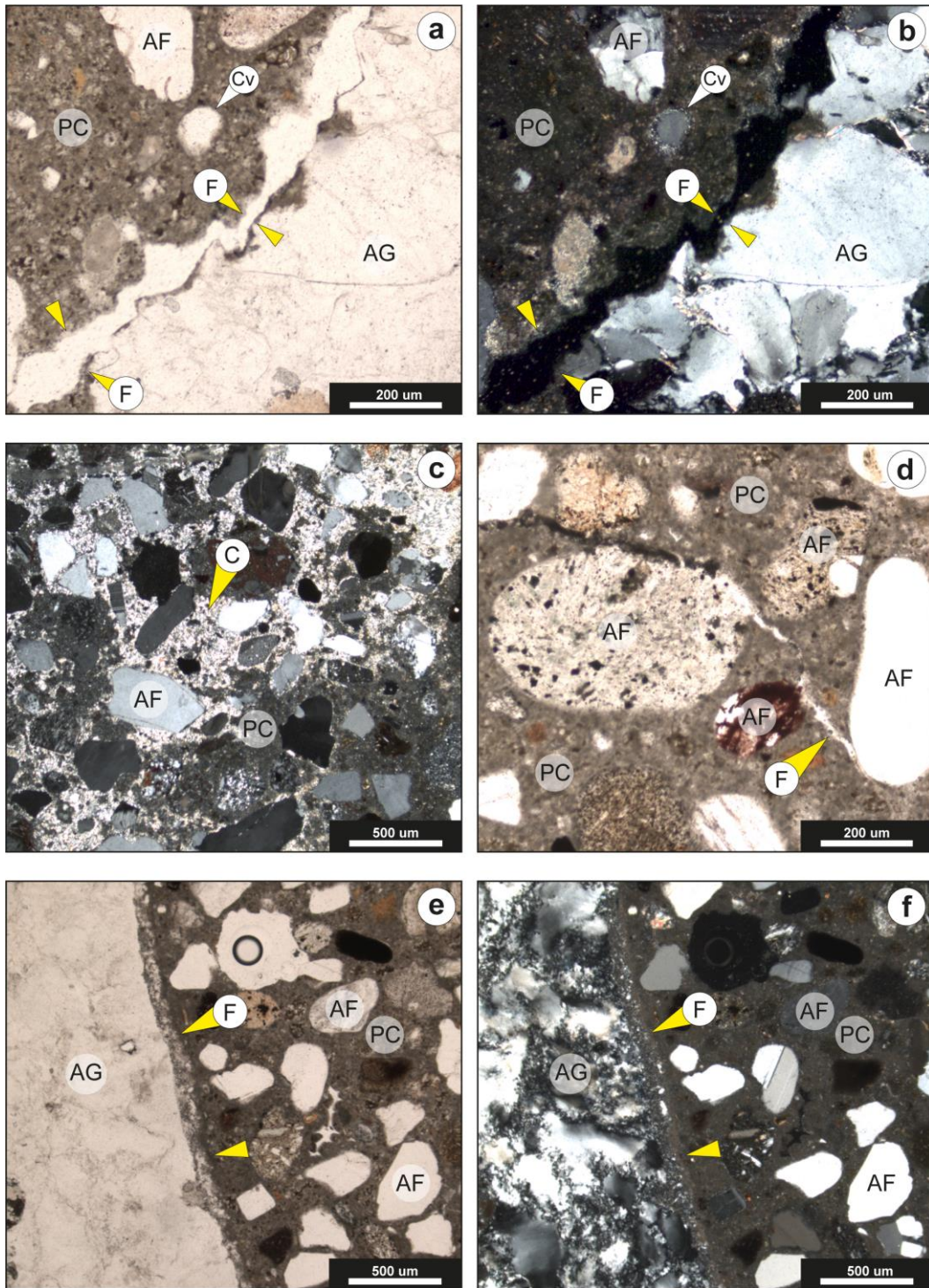
Se observa además un pico de silicio y una contribución al pico del calcio que podría corresponder a los productos de hidratación de la pasta de cemento por debajo de la ettringita o a los productos de la RAS reconocidos por estereomicroscopía en otros sectores de la muestra. En el hormigón R se reconoce mayor cantidad de productos de reacción, amorfos o de hábito fibroso, que corresponden a aluminosilicatos de calcio, potasio y sodio, probablemente hidratados (Figs. 5c y 5d) característicos de la RAS, por sectores asociados a ettringita (Figs. 5e y 5f)

### 3.4 Índice de daño

En las Figs. 6a a 6d se muestran diferentes sectores de los testigos de hormigón R y O, preparados para determinar el DRI, y en la Fig. 6e los resultados de este estudio. Se puede observar que hay una leve diferencia entre los valores absolutos de DRI de ambos hormigones, indicando un mayor deterioro del hormigón del testigo R2 sobre el del testigo O3. Sin embargo, es interesante destacar que la mayor diferencia se da en que el hormigón O3 posee más fisuras en la pasta de cemento sin relleno (Figs. 6a, 6b, 6e), mientras que el hormigón R2 posee más fisuras en la pasta de cemento con relleno (Figs. 6c, 6d, 6e). Esto indudablemente ha contribuido a que el proceso expansivo en el hormigón R sea más avanzado. Además, es importante remarcar que muchos de los agregados cuarcíticos presentan un avanzado grado de reacción en el hormigón R2 (sectores del agregado disuelto), que en ocasiones genera interfases transicionales con el mortero (Fig. 6d).

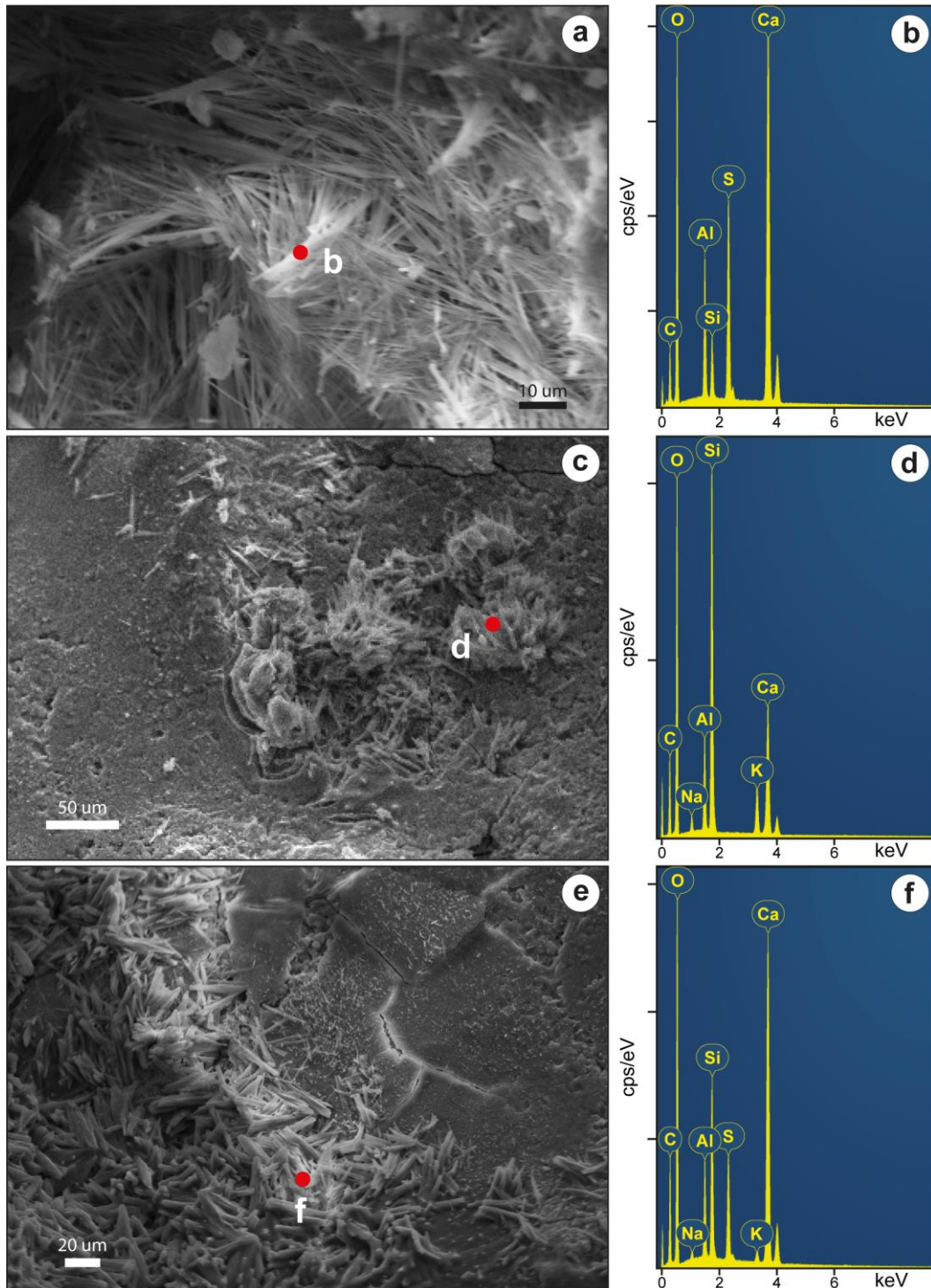
## 4. Discusión

Tanto el hormigón O como el R presentan valores aceptables de resistencia a compresión, así como de densidad, absorción y porosidad. Sin embargo, ambos presentan elevados valores de succión capilar.

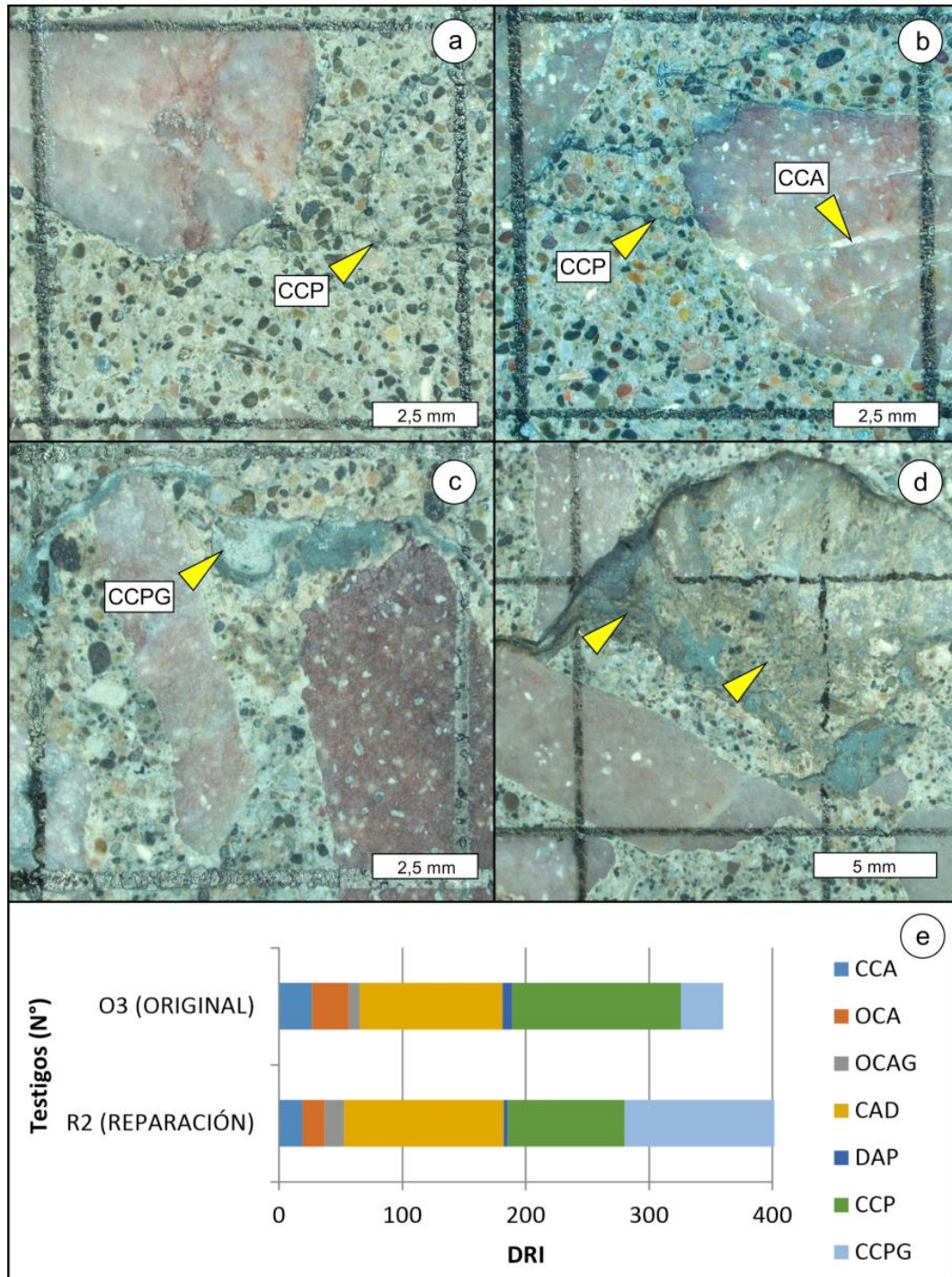


**Figura 4.** Fotomicrografías del hormigón O (a, b y c) y R (d, e y f) vistas con microscopio óptico de polarización a luz paralela (a, d, e) y nicoles cruzados (b, c, f). a. Agregado grueso cuarcítico con una microfisura vacía en contacto con el mortero (flechas amarillas). b. Misma imagen con nicoles cruzados. c. Carbonatación en el mortero (flecha amarilla). d. Microfisura en la pasta de cemento bordeando los agregados finos (flecha amarilla). e. Agregado grueso cuarcítico con una microfisura rellena con productos de reacción en la interfase con el mortero (flechas amarillas). f. Misma imagen con nicoles cruzados donde se observa cuarzo microcristalino en el agregado grueso. AF: agregado fino, AG: agregado grueso, Cv: cavidad de aire accidental, PC: pasta de cemento, F: microfisura, C: pasta carbonatada.





**Figura 5.** MEB-EDS. a-b (O), c-f (R). a. Desarrollo de ettringita en una cavidad asociada a silicatos de calcio. b. Espectro EDS del material observado en el punto b. c. Producto de reacción fibroso en el interior de una cavidad de aire accidental. d. Espectro EDS del material observado en el punto d. e. Cristales de ettringita sobre productos de reacción en el interior de una cavidad. f. Espectro EDS del sector f.



**Figura 6.** Fotomicrografías tomadas con estereomicroscopio sobre la superficie pulida de los testigos del hormigón O3 (a y b) y R2 (c y d) para determinar el DRI. Es importante remarcar la interfase transicional del agregado cuarcítico con el mortero en la Fig. 6d. e. Resultados del DRI sobre el hormigón O3 y R2. CCA: fisura en el agregado grueso. OCA: fisura abierta en el agregado grueso. OCAG: fisura con producto de reacción en el agregado grueso. CAD: agregado grueso desprendido. DAP: partícula de agregado corroída o desagregada. CCP: fisura en pasta de cemento. CCPG: fisura con producto de reacción en pasta de cemento.

Según información proporcionada por Vialidad Nacional (VN), el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) se incrementó de 1780 vehículos en el año 2000 a 3774 en el año 2019. Además, según información de VN, la estructura se encuentra apoyada sobre un suelo calcáreo fino, sin capacidad de soportar cargas significativas (suelo tipo A-4 según clasificación de suelos para subrasantes del Highway Research Board). El aumento del TMDA y la baja capacidad soporte del suelo subyacente, sumados a la baja calidad del sector superior de las losas de hormigón, habrían sido factores determinantes en el inicio de la fisuración y en el ingreso de humedad a la estructura.

Si bien no se pudo conocer la dosificación del hormigón O y R, es probable que el mejor comportamiento del hormigón R (mejor desempeño en los ensayos físico-mecánicos) se deba a la realización de un hormigón de mejor calidad en relación al O. A pesar de esto, en ambos hormigones se observaron evidencias de la RAS. El ingreso de humedad a la estructura, la presencia de agregados gruesos potencialmente reactivos y la disponibilidad de álcalis provenientes del cemento (probablemente no se utilizó un cemento de bajo contenido alcalino), habrían favorecido al desarrollo de esta patología.

El desarrollo de la RAS en el hormigón R podría haberse evitado reemplazando el agregado grueso por uno no reactivo como se está haciendo en la reparación actual. Sin embargo, si bien esto resolvería el problema asociado a la RAS, no resuelve los problemas asociados a la fisuración generada por falta de soporte en la base de apoyo del hormigón y el consecuente ingreso de humedad a la estructura.

Los resultados del DRI indican un deterioro moderado de ambos hormigones, concentrándose la fisuración en la zona de interfase entre el agregado (grueso y fino) y la pasta de cemento, y en la pasta de cemento (fisuras tipo CAD, CCP y CCPG). La fisuración dentro de los agregados con productos de reacción es reducida. Esto estaría en consonancia con un deterioro y fisuración previos, no asociados a la RAS.

Una vez que se produce el ingreso de humedad en el hormigón, se desarrolla la reacción, en especial en las zonas de interfase, con disolución del agregado grueso en sectores localizados. Esto, además, habría favorecido el ingreso de CO<sub>2</sub> y la consecuente carbonatación parcial de la pasta de cemento, así como la movilización de sulfatos para el desarrollo de ettringita secundaria en poros y fisuras.

## 5. Conclusiones

Según los estudios realizados en el hormigón O y R de la rotonda de acceso a la ciudad de Pigüé, la RAS se desarrolla como consecuencia del deterioro previo de la estructura, probablemente por el aumento en el TMDA y la baja capacidad soporte del suelo subyacente, lo que habría permitido, junto a la baja calidad del hormigón superior, el ingreso de humedad a la estructura y la reacción con el agregado cuarcítico. La fisuración e ingreso de humedad no solo desencadenaron la RAS sino que favorecieron la carbonatación parcial de la pasta de cemento y el desarrollo de ettringita secundaria en poros y fisuras.

Este trabajo constituye la primera referencia de una obra de hormigón con evidencias de la RAS vinculada con las cuarcitas del sur de la provincia de Buenos Aires.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Vialidad Nacional Distrito 19, al CGAMA (CIC-UNS), a la Comisión de Investigaciones Científicas de la prov. de Bs. As., al Dpto. de Geología de la Universidad Nacional del Sur y al CICTERRA (CONICET-UNC) por el apoyo brindado.

## Referencias

- [1] López Batista, A., Santos Silva, A., Fernandes, I., Oliveira Santos, L., Custódio, J., y Serra, C. (Eds.) (2021). *Proceedings of the 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (Volume I)*. LNEC.

- [2] Fernandes, I., y Broekmans, M. A. T. M. (2013). Alkali–Silica Reactions: An Overview. Part I. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 2, 257–267. <https://doi.org/gjg854>
- [3] Lindgård, J., Nixon, P. J., Borchers, I., Schouenborg, B., Wigum, B. J., Haugen, M., y Åkesson, U. (2010). The EU “PARTNER” Project — European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations. *Cement and Concrete Research*, 40(4), 611–635. <https://doi.org/b573hf>
- [4] Berezosky, J. J., Lescano, L., Marfil, S. A., y Maiza, P. J. (2017). Desarrollo de la reacción álcali – agregado en el hormigón de la rotonda de acceso a la localidad de Médanos, provincia de Buenos Aires. En L. M. Ibañez, P. Grosse, y M. A. Báez (Eds.), *XX Congreso Geológico Argentino* (pp. 4–7). AGA.
- [5] Berezosky, J., Marfil, S., y Di Sciuillo, N. (2018). Evaluación del deterioro de pavimentos de hormigón de rutas interurbanas de Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires). En V. L. Bonavetti (Ed.), *VIII Congreso Internacional - 22ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón* (pp. 449–456). AATH.
- [6] Berezosky, J., Lescano, L., Locati, F., Maiza, P., y Marfil, S. (2015). Behaviour of reactive sands in concrete. A case of study. En Y. Villagrán, C. Zega, y M. C. Torrijos (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Structural Concrete (Sustain Concrete 2015)* (pp. 349–358). LEMIT.
- [7] Berezosky, J., Falcone, D., Lescano, L., Madsen, L., Marfil, S., y Maiza, P. (2016). Comportamiento frente a la RAS de los materiales utilizados como agregado pétreo en la zona de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. En E. F. Irassar, V. Rahhal, y L. P. Traversa (Eds.), *VII Congreso Internacional - 21ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón* (pp. 373–380). AATH.
- [8] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2008). *IRAM 1649. Examen petrográfico de agregados para hormigón*.
- [9] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1997). *IRAM 1674. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero*.
- [10] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). *IRAM 1700. Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado*.
- [11] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2016). *IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo*.
- [12] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2000). *IRAM 1551. Hormigón de cemento portland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*.
- [13] American Society for Testing and Materials (2013). *ASTM C642. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*.
- [14] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2021). *IRAM 1871. Hormigón. Método de ensayo para la determinación de la capacidad y el coeficiente de succión capilar de agua del hormigón endurecido*.
- [15] Sanchez, L. F. M., Fournier, B., Jolin, M., y Duchesne, J. (2015). Reliable quantification of AAR damage through assessment of the Damage Rating Index (DRI). *Cement and Concrete Research*, 67, pp. 74–92. <https://doi.org/f6v9zv>
- [16] Federal Highway Administration (2001). *The effects of higher strength and associated concrete properties on pavement performance* (Publication N° FHWA-RD-00-161). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/00161.pdf>
- [17] Rincón, O. T., Carruyo, A. R., Andrade, C., Helene, P., y Díaz, I. (Eds.) (1998). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*. CYTED.
- [18] Instituto Nacional de Tecnología Industrial-Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (2005). *Reglamento argentino de estructuras de hormigón (CIRSOC 201)*. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas de la Nación. <https://www.inti.gob.ar/assets/uploads/files/cirsoc/vigencia-2013/area100/area100a/reglamento201completo.pdf>